

**Основные положения и особенности
расчетов гидротехнических сооружений на
сейсмические нагрузки**

**Бестужева Александра Станиславовна, к.т.н., доцент кафедры
Гидравлики и Гидротехнического строительства НИУ МГСУ**

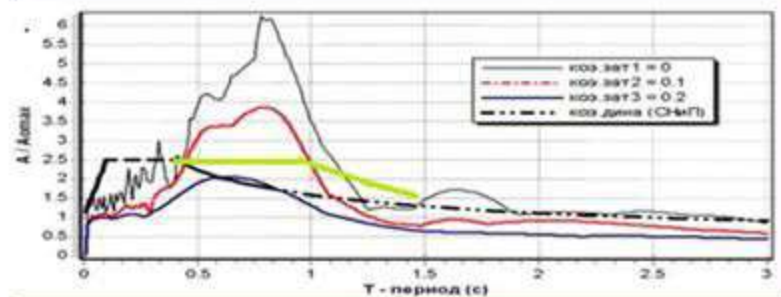
**Главная задача теории сейсмостойкости -
– определение сейсмической силы**



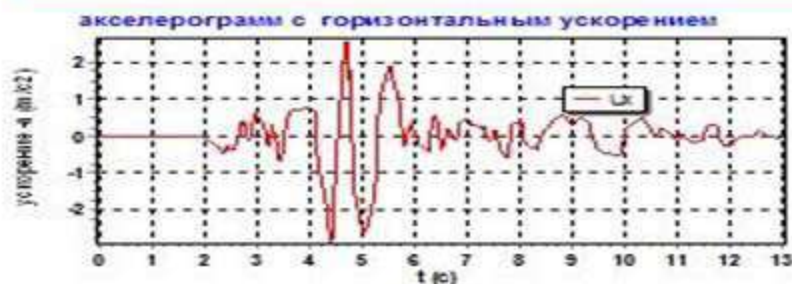
Сейсмическое воздействие

Балльность по шкале МСК,
J₀

Спектр землетрясения



Акселерограмма



Квазидинамические
методы

Метод ЛСМ

$$S_{\max k,i,j} = K_1 k_{\psi} Q_k A_0 \beta_i \eta_{k,i,j}$$

Метод спектра реакции

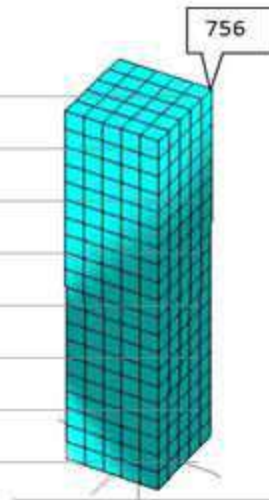
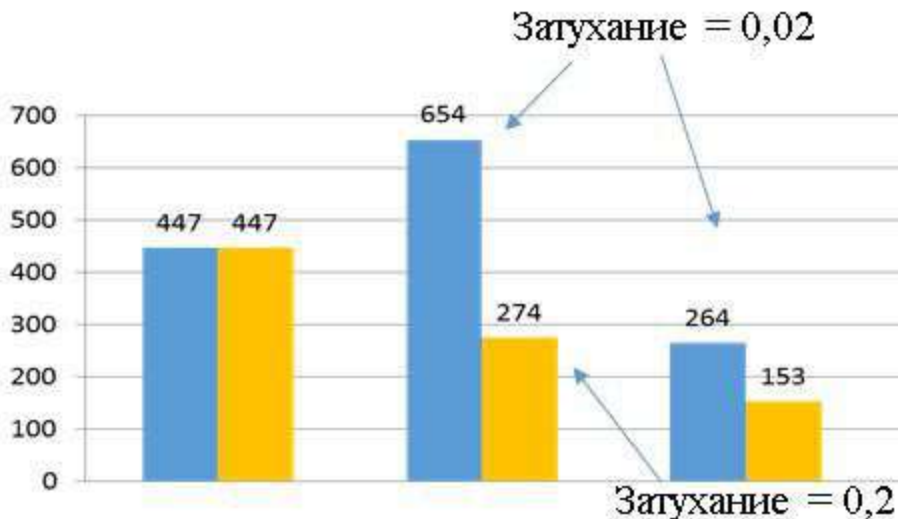
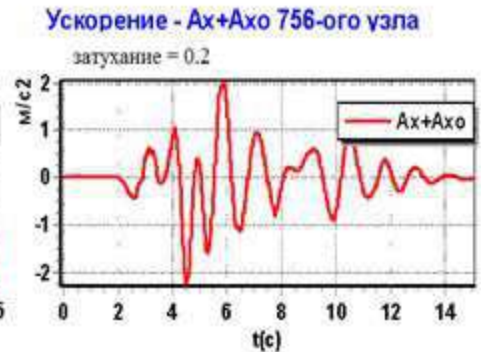
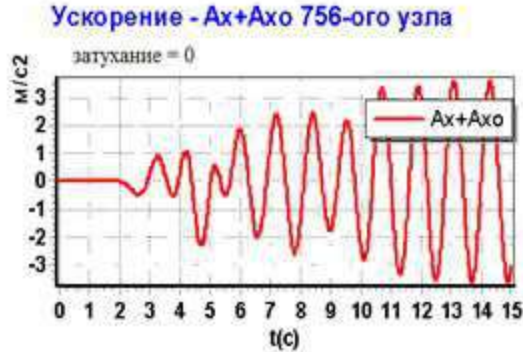
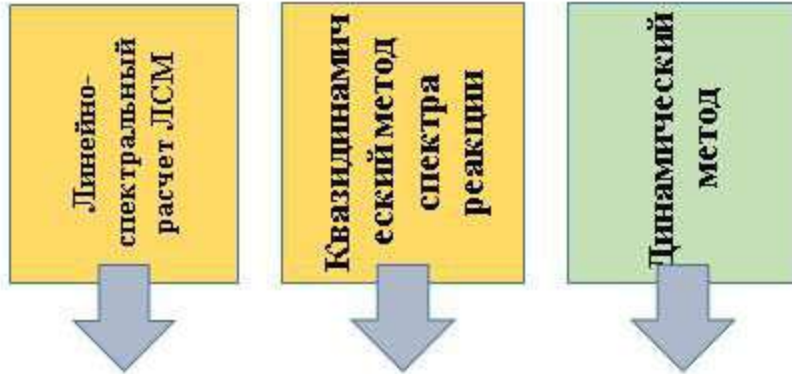
$$S_{\max k,i,j} = m_k \ddot{y}_{i,j} \eta_{k,i,j}$$

Динамические методы

- Прямое интегрирование
- Разложения по ФСК

Сравнение методов по расчету сейсмической силы

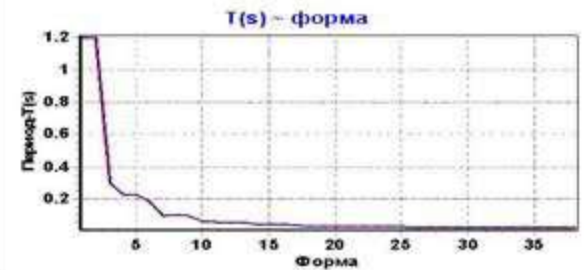
Сейсмическая сила по основному тону колебаний, кН



Расчетная схема

$H = 200\text{м}$; $L=B=50\text{м}$; $\gamma = 0,55\text{тс/м}^3 = 5,45\text{кН/м}^3$
 $E = 10.000.000,0\text{ кН/м}^2$; $\mu = 0,15$

Периоды форм собственных колебаний башни



Влияние числа учитываемых ФСК на сейсмическую силу ЛСМ

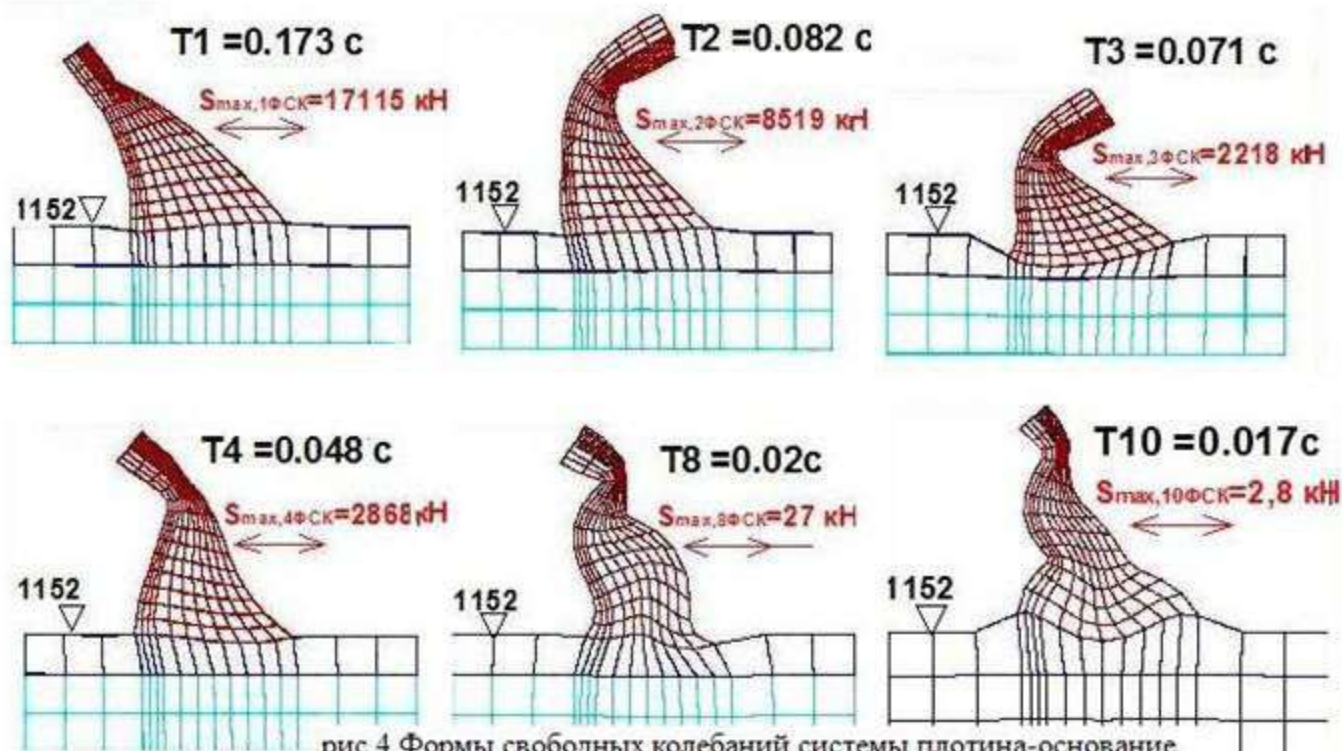
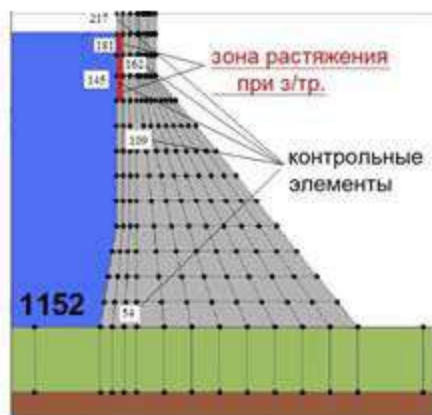
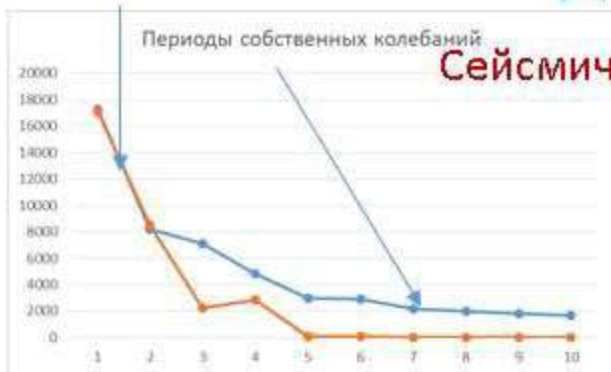


рис.4 Формы свободных колебаний системы плотина-основание

Сила, кН



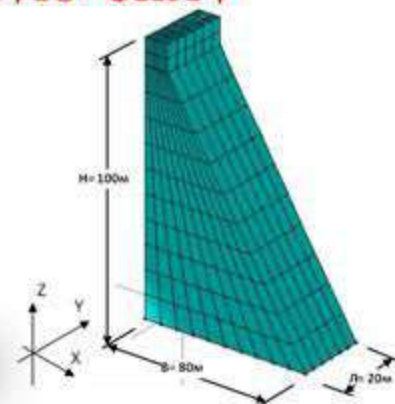
Сейсмическая сила по i форме собственных колебаний (метод ЛСМ)

№ ФСК	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$S = \sqrt{\sum S_i^2}$
Период $T_i, \text{ с}$	0,173	0,082	0,071	0,048	0,03	0,029	0,022	0,02	0,018	0,017	
Сила, $S_i, \text{ кН}$	17115	8519	2218	2868	75	66	31	27	14	2,8	19460

Влияние числа учитываемых ФСК на сейсмическую силу

Основное динамическое уравнение
вынужденных колебаний плотины

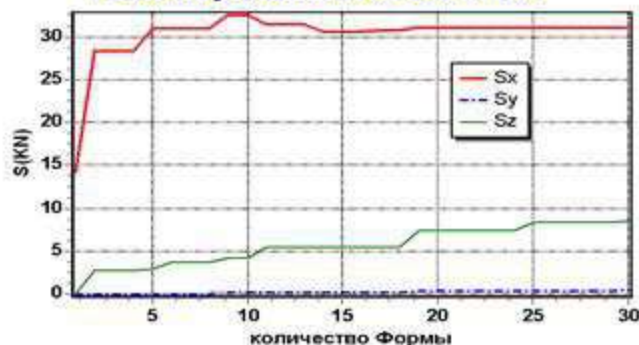
$$[M]\{\ddot{r}\} + [C]\{\dot{r}\} + [K]\{r\} = -\{M_x\}\ddot{U}_{ox}(t) - \{M_y\}\ddot{U}_{oy}(t) - \{M_z\}\ddot{U}_{oz}(t)$$



$H = 100\text{ м}$, $E_{\text{бетона}} = 24\,500\text{ МПа}$,
 $\gamma = 2.4\text{ т/м}^3$, $\mu = 0.2$

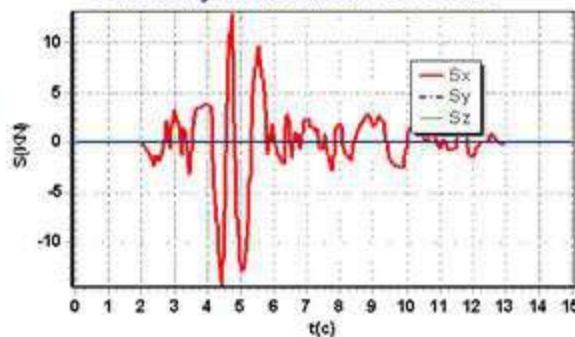
Сейсмическая сила на гребне гравитационной плотины (уз.176)

Максимальные силы $-S_x$ 176-ого узла
с числом учитываемых ФСК от 1..30



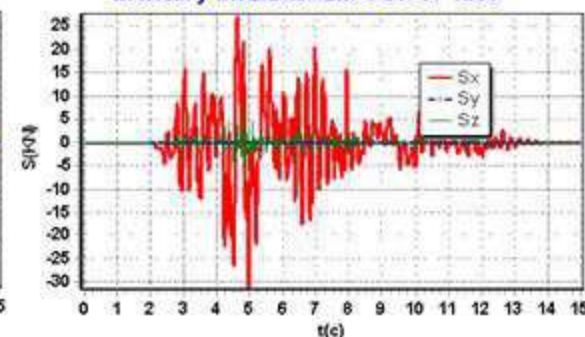
при учете 1 ФСК

Сейсмические силы $S - S_x$ 176-ого узла
с числом учитываемых ФСК от 1..1



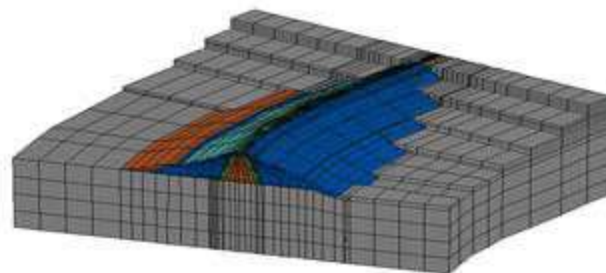
при учете 30 ФСК

Сейсмические силы $S - S_x$ 176-ого узла с
числом учитываемых ФСК от 1..30



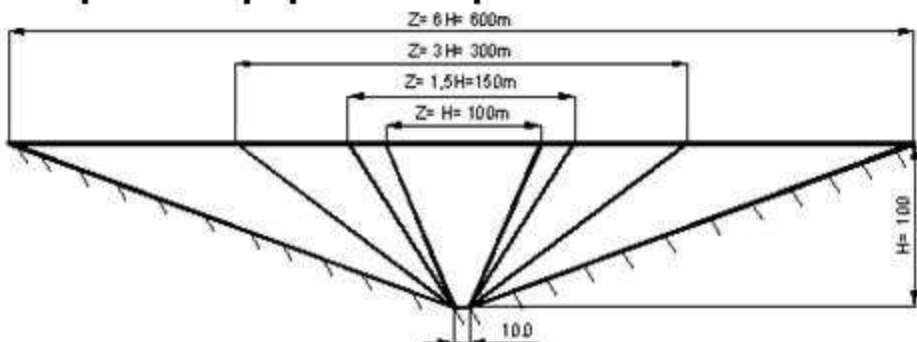
Влияние упругого основания

Вывод. Несмотря на исключительно горизонтальное направление заданного сейсмического воздействия, для сооружений, расположенных на сжимаемом основании, практически во всех (кроме 1 ФСК) присутствуют вертикальные компоненты колебаний, что приводит к формированию вертикальных инерционных нагрузок, составляющих почти 10-15% от горизонтальных сейсмических сил, причем количество требуемых ФСК для получения максимальной сейсм. силы для вертикальных компонент выше, чем для горизонтальных.

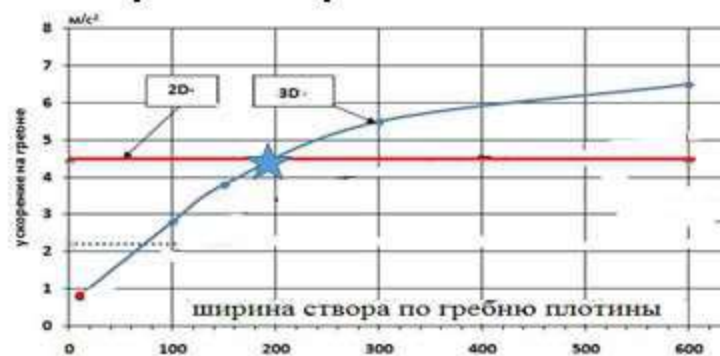


Влияние пространственных условий на ФСК грунтовой плотины

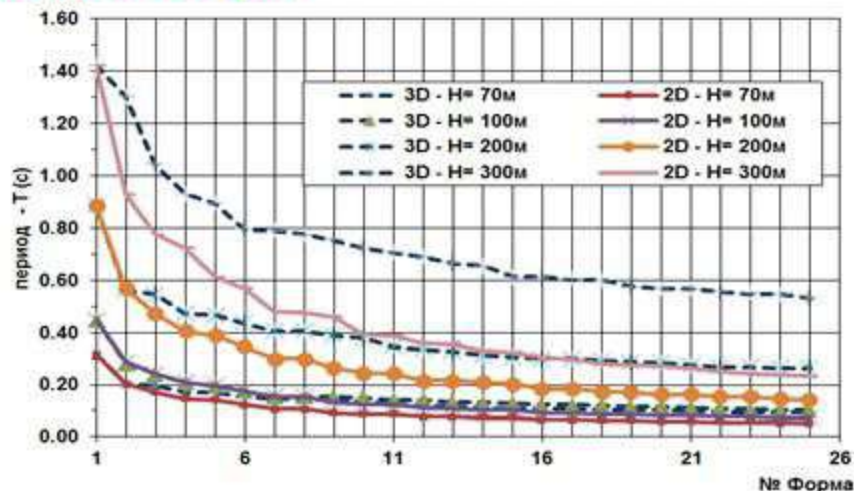
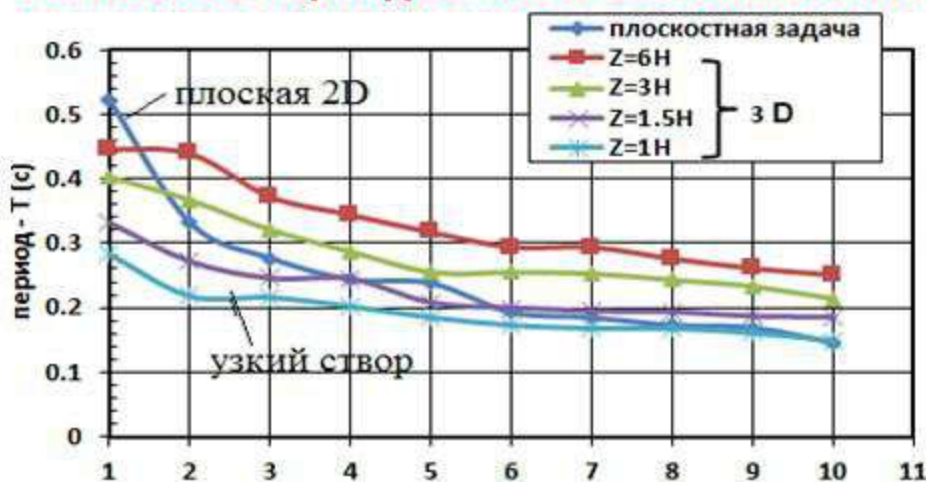
Ширина и форма створа



Ускорения на гребне плотины

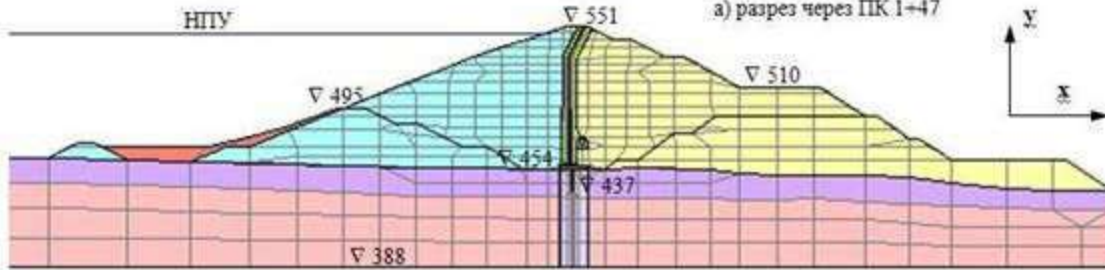


Изменение периодов ФСК в зависимости от формы створа

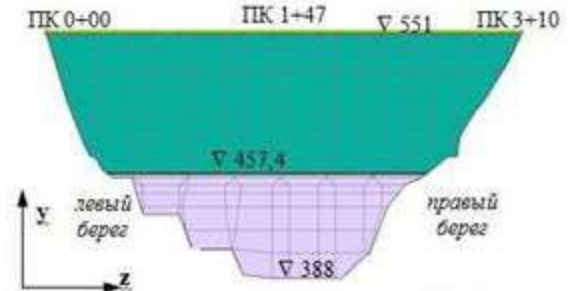


Влияние пространственных условий на ФСК грунтовой плотины с асфальтобетонной диафрагмой

Грунтовая плотина Ирганайского гидроузла

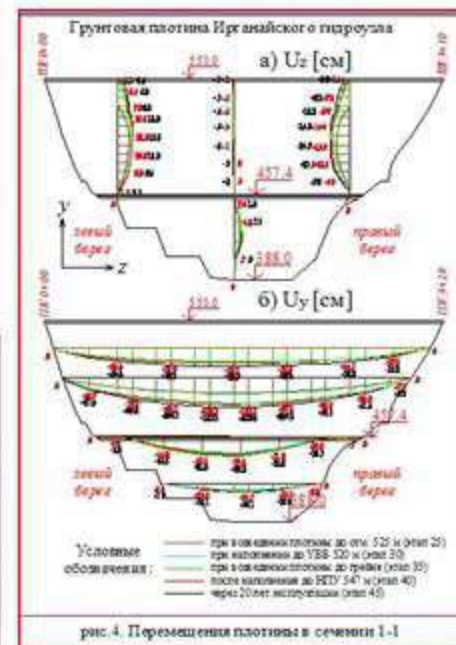
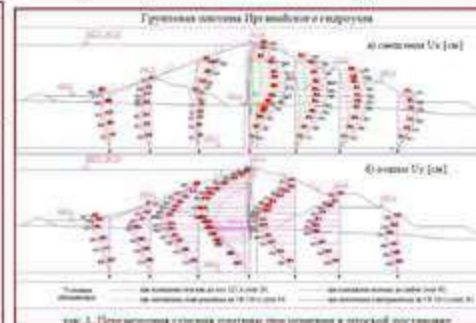
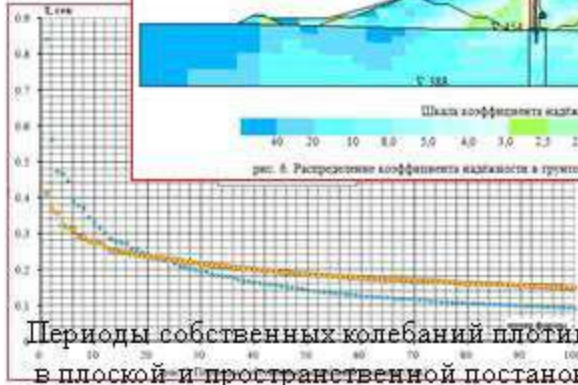
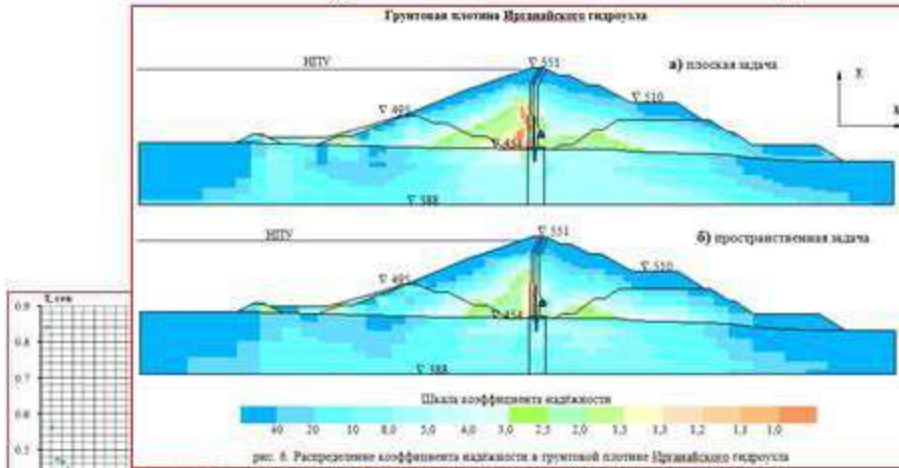


б) разрез по верховой грани диафрагмы



НДС плотины в плоской и пространственной постановке на начало землетрясения

Прочностное состояние плотины для плоской и пространственной задач



Алгоритм расчета сооружений на сейсмические воздействия

Исходные данные

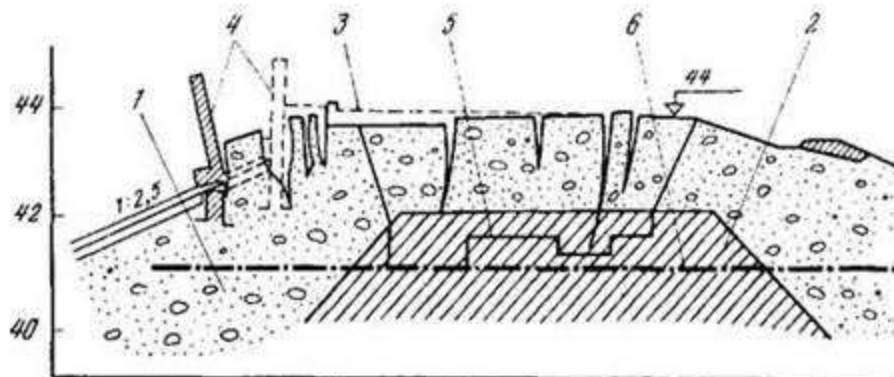


Типичные повреждения грунтовых плотин при землетрясениях:

1. Осадки гребня
2. Оползни на откосах, разжижение грунтов



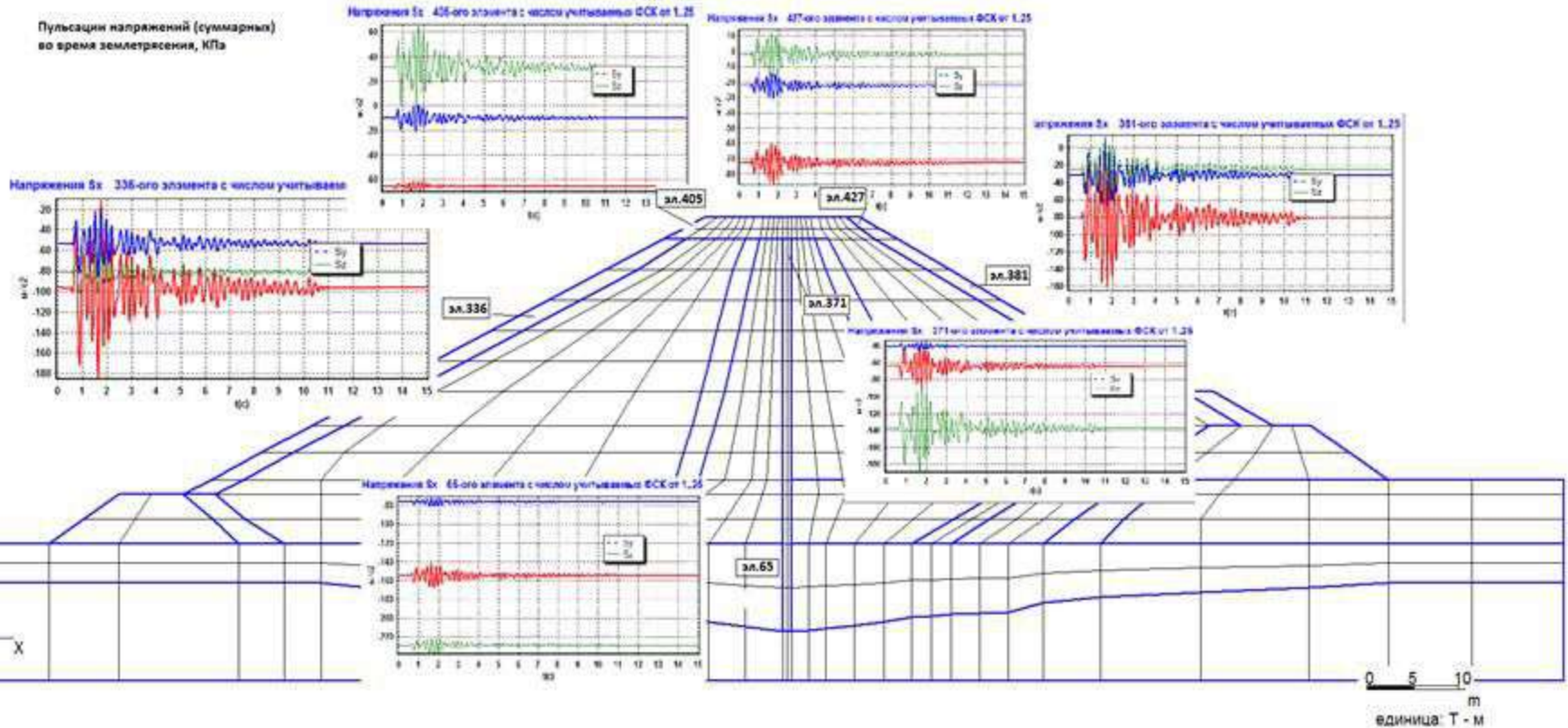
3. Трещины на гребне,
на контакте с основанием и бортами
4. Образование волны в водохранилище
и перелив через гребень



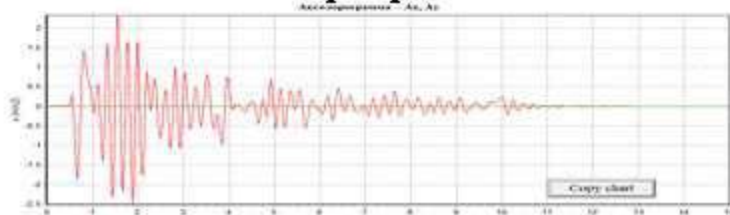
Нарушение устойчивости верхового откоса проявляется в 50% разрушений высоких грунтовых плотин

Пульсации напряжений в плотине при землетрясении

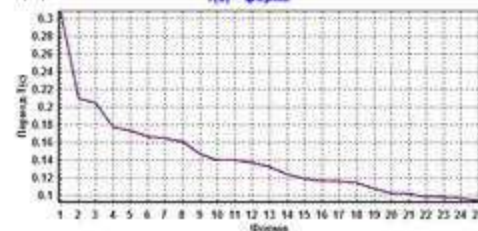
Пульсации напряжений (суммарных)
во время землетрясения, КПа



Расчетная акселерограмма

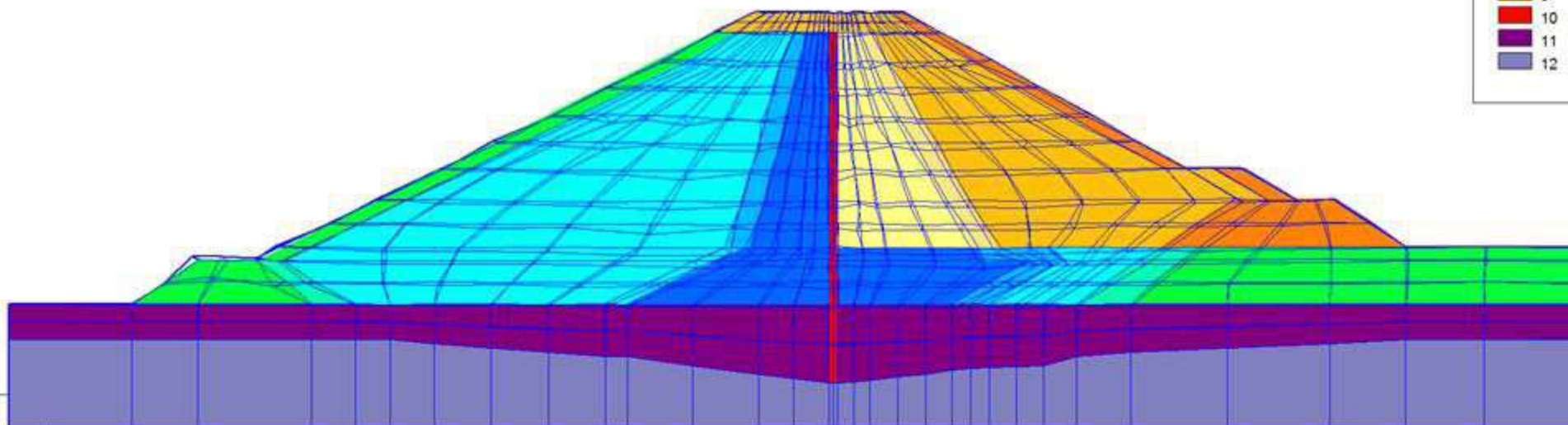
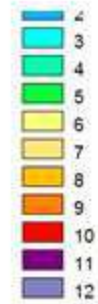


Периоды собственных колебаний плотины



Остаточные перемещения в плотине при землетрясении

Момент времени 0.15 с от начала землетрясения



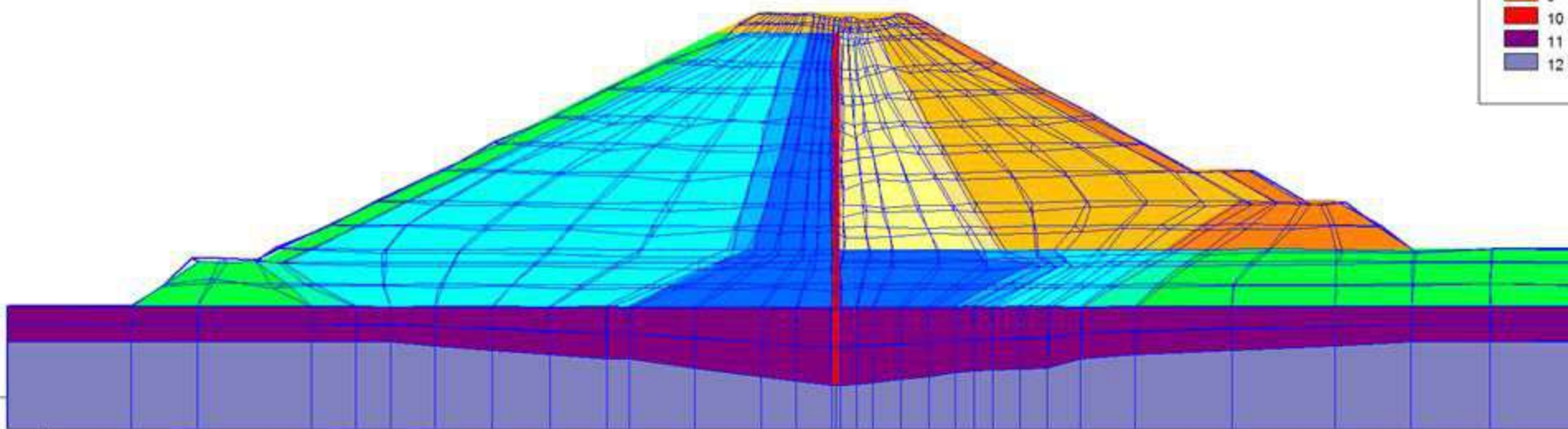
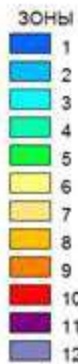
При землетрясении - момент времени $t = 0.150$ s - масштаб перемещений = 1/10



единица: Т - м

Остаточные перемещения в плотине при землетрясении

Момент времени 0.90 с от начала землетрясения



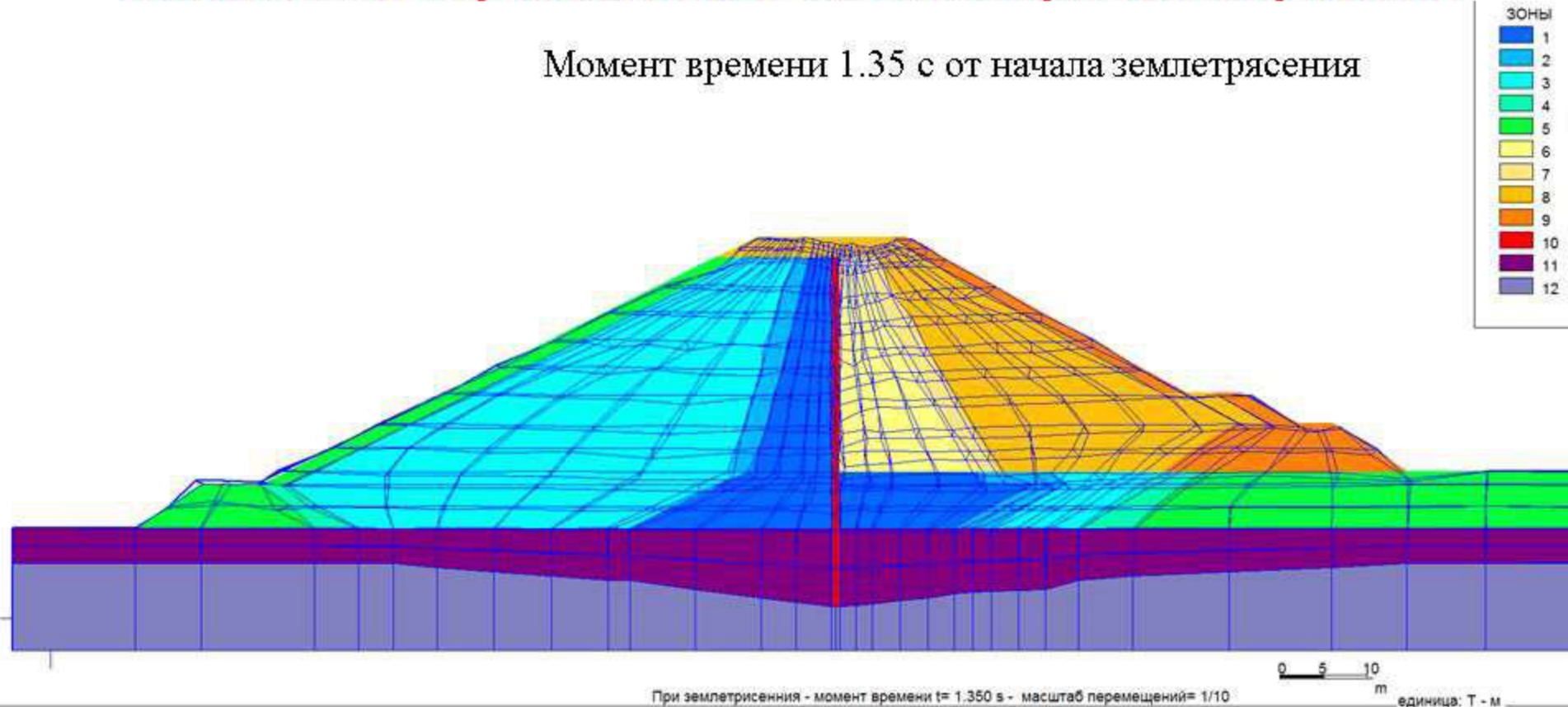
При землетрясении - момент времени $t = 0.900$ s - масштаб перемещений = 1/10

0 5 10
m

единица: Т - м

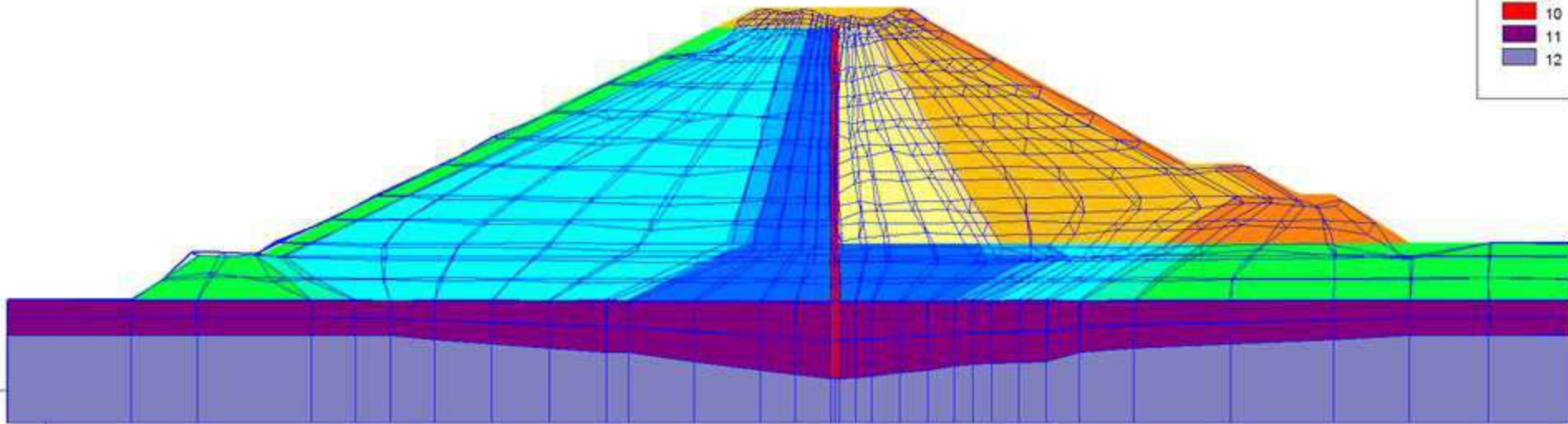
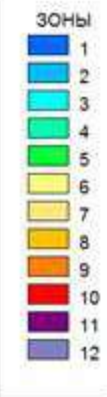
Остаточные перемещения в плотине при землетрясении

Момент времени 1.35 с от начала землетрясения



Остаточные перемещения в плотине при землетрясении

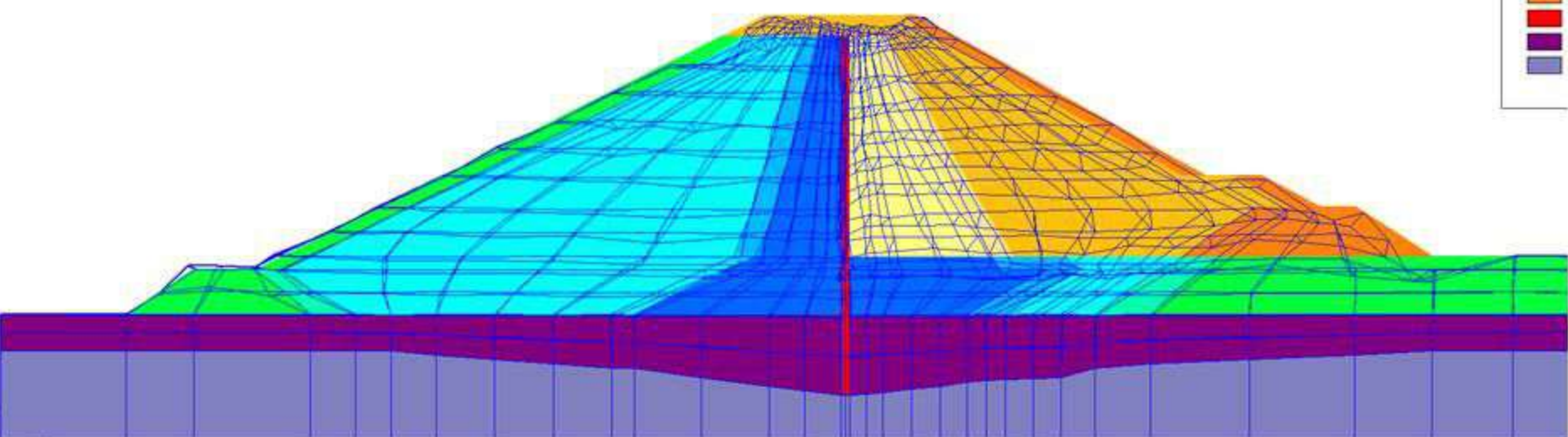
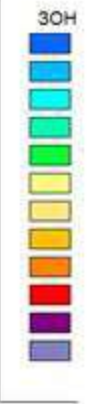
Момент времени 1.65 с от начала землетрясения



При землетрясении - момент времени $t = 1.650$ с - масштаб перемещений = 1/10
единица: Т - м

Остаточные перемещения в плотине при землетрясении

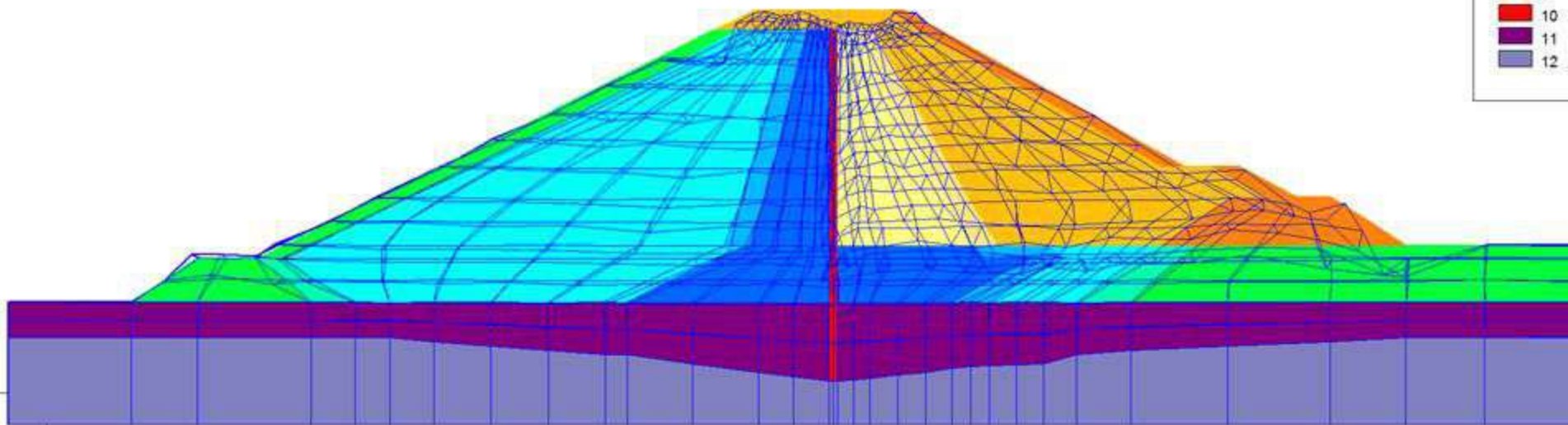
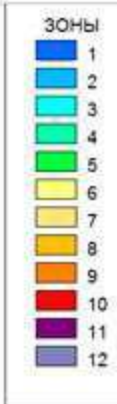
Момент времени 2.10 с от начала землетрясения



При землетрясении - момент времени $t = 2.100$ s - масштаб перемещений = 1/10 0 5 10 м единица: Т - м

Остаточные перемещения в плотине при землетрясении

Момент времени 4.05 с от начала землетрясения



При землетрясении - момент времени $t = 4.050$ s - масштаб перемещений = 1/10

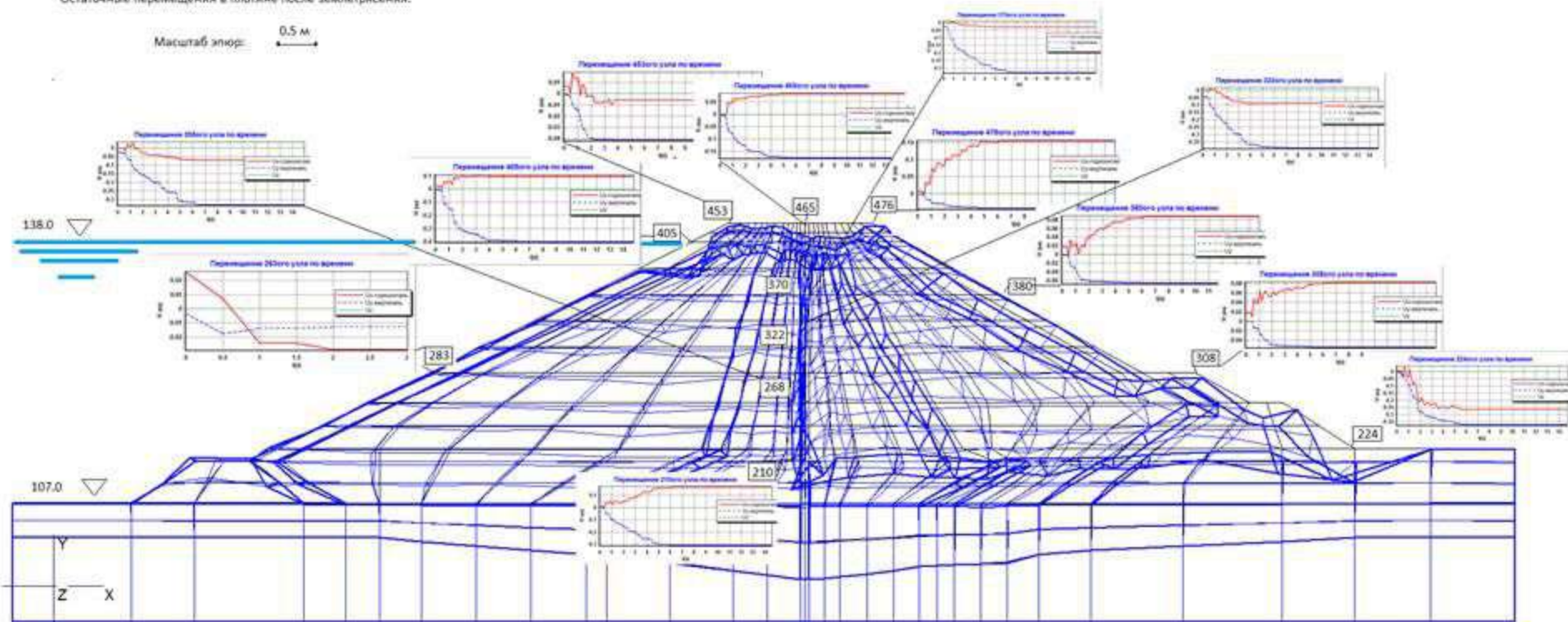
0 5 10
м

единица: Т - м

Остаточные перемещения в плотине после землетрясения

Остаточные перемещения в плотине после землетрясения.

Масштаб элюр: 0.5 м



Накопление остаточных перемещений во время землетрясения



Бегущая волна

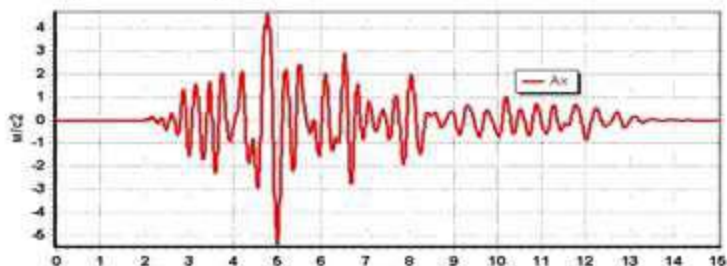
Влияние скорости распространения сейсмической волны на ускорения гребня плотины в плоской и пространственной задаче

Основное динамическое уравнение с учетом «бегущей волны»

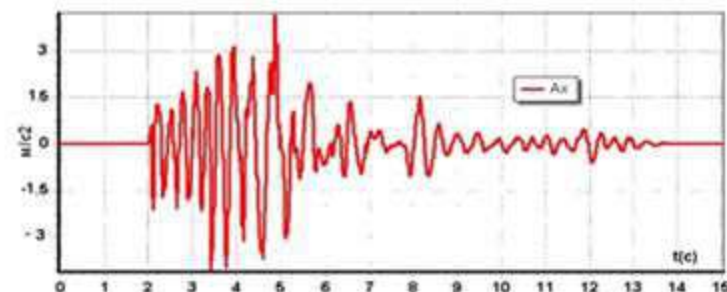
$$[M]\{\ddot{r}\} + [C]\{\dot{r}\} + [K]\{r\} = - \sum_{k=1}^{Nb} [M]\{b_{3k}\} \ddot{r}_{s,3k}^b - \sum_{k=1}^{Nb} [M]\{b_{3k-1}\} \ddot{r}_{s,3k-1}^b - \sum_{k=1}^{Nb} [M]\{b_{3k-2}\} \ddot{r}_{s,3k-2}^b$$

Изменение характера пульсаций и амплитуд ускорений на гребне плотины
при учете «бегущей волны» $V=1500\text{ м/с}$. Ширина створа составляет $3H$ ($H=100\text{ м}$).

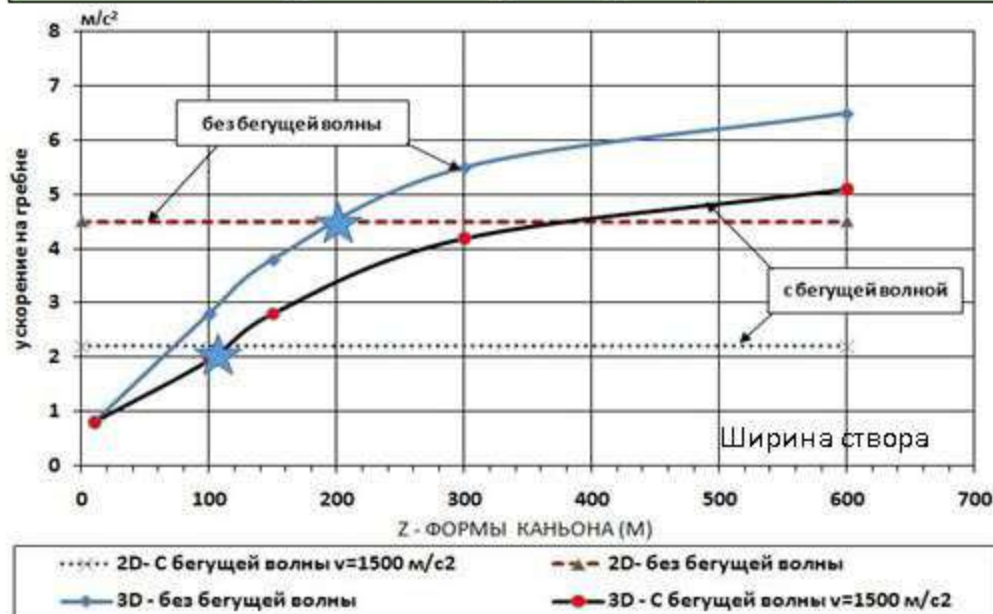
Без учета «бегущей волны»



С учетом «бегущей волны»



Влияние ширины створа на ускорения гребня





СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!